رتبه‌بندی رویکردهای مدیریت سیلاب با استفاده از فرآیند تحلیل سلسله مراتبی و ارزیابی داده‌های ترکیبی

محمد ابراهیم بنی حبیب[۱]، ابوالفضل لقب دوست آرانی[۲]

تاریخ دریافت : ۱۳۹۱/۱۱/۰۵
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۰۸/۱۶

چکیده:

سیلاب اثرات مخربی بر محیط اجتماعی، اقتصاد و زیست‌محیطی داشته و مدیریت سیلاب اثرات ناشی از تخریب سیل را مدیریت می‌کند. به دلیل چندبعدی بودن اثرات سیلاب، استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره به عنوان یک سیستم تصمیم‌گیری در مدیریت سیلاب، ضروری است. در این مقاله جهت مدیریت سیلاب در حوزۀ گرگانرود، از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی (AHP) و ارزیابی داده‌های ترکیبی (EVAMIX) در رتبه‌بندی هفت رویکرد مدیریت سیلاب شامل حفظ شرایط‌طبیعی، بهره‌برداری از سدگلستان، احداث گوره، احداث کانال‌انحراف، سامانۀ پیش‌بینی و هشدارسیل، استفاده از بیمه‌سیل و سامانۀ پیش‌بینی و هشدارسیل توام با بیمۀسیل استفاده شده‌است. به‌منظور ارزیابی رویکردها از ۱۱ شاخص شامل تلفات جانی مورد انتظار، نرخ بازیابی، تدریج، خسارت مورد انتظار سالانه، احساس‌امنیت مردم، نرخ اشتغال‌زائی، مشارکت مردمی، حفظ و بهبود مناظرطبیعی، حفاظت از زیستگاه‌حیات‌وحش، حفاظت از کیفیت آب و امکان‌پذیری فنی و سرعت اجراء استفاده شده است. نتایج رتبه‌بندی رویکردها نشان – می‌دهد که دو مدل یاد شده، تنها در رتبه اول و دوم رویکردها با یکدیگر اختلاف داشته و مدل سلسله مراتبی رتبه اول را به رویکرد سازه‌ای بهره‌برداری از سد با وزن نهایی ۰/۲۸۵ و مدل ارزیابی داده های ترکیبی رتبه اول را به رویکرد غیرسازه‌ای هشدارسیل توام با بیمه‌سیل با وزن نهایی ۰/۱۸۲ اختصاص داده ولی در سایر رویکردها نتایج رتبه‌بندی مدل‌ها یکسان بوده‌است. مدل تحلیل سلسله مراتبی بیشتر به جنبه‌های اجتماعی و زیست‌محیطی توجه داشته و مدل ارزیابی داده‌های ترکیبی جنبه‌های اقتصادی و فنی را برتر دانسته‌است.

واژه‌های کلیدی: تصمیم‌گیری چندمعیاره، حوزۀ گرگانرود، رویکردهای مدیریت سیلاب، شاخص‌های ارزیابی، مدل AHP، مدل EVAMIX.

[۱]- دکترای مهندسی عمران، استادیار دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، ایران، ۰۹۱۲۱۰۸۲۷۶۴
banihabib@ut.ac.ir
[۲]-دانش آموخته ی رشته ی مهندسی منابع آب، دانشگاه تهران، پردیس ابوریحان، ایران، ۰۹۱۳۷۴۲۰۹۱۰
Laghabdoost629@yahoo.com

Archive of SID
www.SID.ir

مقدمه

مدیریت سیلاب شامل طیف وسیعی از فعالیت‌هایی است که برای کاهش اثرات مخرب سیلاب بر روی اجتماع انسانی، محیط زیست و اقتصاد یک منطقه به کار می‌رود. از طرفی این فعالیت‌ها شامل رویکردهای مختلف سازه‌ای و غیرسازه‌ای بوده و از طرف دیگر، معیارهای متنوع اجتماعی، زیست محیطی و اقتصادی برای ارزیابی اثرات هر یک از این فعالیت‌ها باید استفاده شود. لذا انتخاب رویکرد[1] بهینه‌ی مدیریت سیلاب یک مسئله تصمیم‌گیری چندمعیاره بوده و استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره ضرورت دارد.

مدل تحلیل سلسله مراتبی (AHP)[2] یک مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره است که جهت بررسی اثرات معیارهای مختلف اعم از داده‌های کمی و کیفی می‌باشد (بزرگی، ب. ۲۰۰۷). اولین قدم در فرایند تحلیل سلسله مراتبی ساختن نمودار سلسله مراتبی مساله است، که معمولا به ترتیب در آن هدف، معیارها (و در صورت وجود زیرمعیارها) و گزینه‌ها نشان داده می‌شوند. روش تحلیل سلسله مراتبی یکی از جامع‌ترین فرایندهای طراحی شده برای تصمیم‌گیری با معیارهای چندگانه است، زیرا با این روش امکان فرموله کردن مساله به صورت سلسله مراتبی فراهم می‌شود. همچنین امکان در نظر گرفتن معیارهای مختلف کمی و کیفی در مساله وجود دارد. در این روش گزینه‌های مختلفی در تصمیم‌گیری دخالت می‌کنند و امکان تحلیل حساسیت روی معیارها و زیرمعیارها وجود دارد. از دیگر مزایای این روش تعیین میزان سازگاری و ناسازگاری تصمیم می‌باشد. همچنین در این روش، مساله تصمیم‌گیری به سطوح مختلف هدف، معیارها و زیرمعیارها و گزینه‌ها تقسیم می‌شود تا تصمیم‌گیرنده بتواند در کوچکترین تصمیم‌گیری دقت کند. برای ساختن مدل تصمیم‌گیری، در بالاترین سطح، هدف و در سطوح میانی معیارها و در سطح پایین، گزینه‌های ممکن گذاشته می‌شود (ساعتی، ۱۹۸۰). فرایند تحلیل سلسله مراتبی از روش مقایسه جفتی شاخص‌ها برای قضاوت در مورد رویکردها استفاده می‌کند. مهمترین مزیت این مدل امکان فرموله کردن مسئله به صورت سلسله مراتبی و تجزیه مسائل پیچیده به شکل ساده می‌باشد (عطایی، م. ۱۳۸۹). مدل سلسله مراتبی بیشتر در مواردی کاربرد دارد که بین رویکردهای مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره ناسازگاری بوجود آید. این مدل ابتدا توسط ساعتی (۱۹۸۰) ارائه‌گردید (چانگ و لی، ۲۰۰۹). کوادوس (۱۹۹۰) از این مدل جهت اولویت‌بندی مدیریتی معیارهای اجتماعی در بنگلادش استفاده کرده‌است (دی بریجین، ۲۰۰۵). لیبراتر (۱۹۸۷) از مدل سلسله مراتبی جهت انتخاب پروژه‌های صنعتی و تخصیص منابع بهره برده است (فرکات و موران، ۱۹۹۱). بیراک و همکاران (۲۰۱۰) و کبیر و هسین (۲۰۱۱) از این مدل جهت اولویت‌بندی در تصمیم‌گیری چندمعیاره با داده‌های فازی استفاده کرده‌اند. با این وجود از مدل تحلیل سلسله مراتبی در زمینه مدیریت سیلاب تحقیقات اندکی صورت گرفته‌است. در دهه‌های اخیر تنوع در استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره افزایش داشته است. کاربرد این روش در منابع آب از فعالیت‌های مس و همکاران (۱۹۶۲ تا ۱۹۷۳) آغاز شد که درآن مسائل تصمیم‌گیری به صورت بهینه‌سازی خطی مطرح شدند. زهرایی و همکاران (۲۰۰۸) این مدل را جهت ارزیابی سیستم‌های منابع آبی در سطح حوزهٔ آبریز بکار بردند. گوانگتاوفو (۲۰۰۸) از مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره فازی جهت بهره‌برداری از مخازن مهار سیلاب استفاده کرده‌است. مدل ارزیابی داده‌های ترکیبی[3] (EVAMIX) یکی دیگر از مدل‌های تصمیم‌گیری چندمعیاره می‌باشد، نرم‌افزار DEFINTE بااستفاده از روش وزن‌دهی ساده و ارزیابی داده‌های ترکیبی، رتبه‌بندی گزینه‌ها را انجام می‌دهد. این مدل توسط ووگد (۱۹۷۶) ارائه گردید سپس توسط وندلف (۱۹۷۷) توسعه یافت. در این روش معیارها به دو دستهٔ کیفی و کمی تفکیک می‌شوند و محاسبات مربوط به هر دسته از معیارها به صورت مجزا انجام می‌گیرد و در نهایت، گزینه‌ها رتبه‌بندی می‌شوند. میلر (۱۹۸۰) جهت آنالیز مکان‌یابی از این مدل استفاده کرده است. ووگد (۱۹۸۱) و چاترج و همکاران (۲۰۱۱) از این روش جهت اجرای پروژه‌ها بهره برده است. با توجه بررسی‌های یاد شده، تعداد محدودی مدل تصمیم‌گیری چندمعیاره در زمینه ارزیابی رویکردهای مدیریت سیلاب و دسته‌بندی حوزه‌ها بکار رفته است. در این تحقیق، به دلیل وجود معیارهای کمی وکیفی، نتایج حاصل از رتبه‌بندی رویکردهای مدیریت سیلاب با

[1] Measure
[2] Analytical Hierarchy Process
[3] Evaluation And Mixed Criteria

Archive of SID
www.SID.ir

استفاده از مدل تحلیل سلسله مراتبی تشریح گردیده و این نتایج با نتایج مدل ارزیابی داده‌های ترکیبی مقایسه شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده طرح

در تحقیق حاضر، رویکردهای مدیریت سیلاب بر اساس معیارهای توسعه‌پایدار با استفاده از مدل تصمیم‌گیری تحلیل سلسله مراتبی برای کاهش خسارت سیل در بازه‌ای از رودخانه گرگانرود، در استان گلستان بررسی شده است. بازه مورد نظر از سد گلستان یک شروع شده و تا پایین‌دست شهر گنبد ادامه دارد. بررسی این منطقه به دلیل وجود سیلاب‌های فراوان و خسارات جانی و مالی وارده می‌باشد. جدول(۱) بده اوج سیلاب‌های تاریخی و خسارت آنها را در ایستگاه تنگراه بر روی رودخانه دوغ در بالادست سد گلستان و ایستگاه گنبد بر روی رودخانه گرگانرود را ارائه می‌دهد. تلفات جانی و خسارت اقتصادی ناشی از سیلاب‌های رخداده، ضرورت مدیریت سیلاب این رودخانه را نشان‌می‌دهد بهره‌برداری از سد گلستان را در سال ۱۳۸۰ شروع شده بنابراین بده اوج ثبت شده در پایین دست آن در ایستگاه گنبد پس از آن تاریخ تحت تأثیر سیل درمخزن سد یاد شده کاهش داشته‌است. البته در این سال به علت عدم بهره‌برداری از طرح آبیاری و زهکشی پایین‌دست، مخزن خالی بوده و عملا بعنوان مخزن تاخیری عمل کرده است. حوضه آبریز گرگانرود مساحتی بالغ بر ۱۱۳۰۰ کیلومتر مربع داشته و بخش‌هایی از سه استان خراسان شمالی، سمنان و گلستان را زهکشی می‌نماید.

جدول (۱) دبی اوج سیلاب های تاریخی ثبت شده درایستگاه آب یخی محدوده طرح وخسارت آنها

سال	بده اوج سیلاب در ایستگاه تنگراه مترمکعب بر سانتیمتر	بده اوج سیلاب در ایستگاه گنبد مترمکعب بر سانتیمتر	خسارت وارده
۱۳۷۱	۱۸۲	۴۰۱	سیل گرفتگی در اراضی زراعی و مستحدثات حاشیه رودخانه
۱۳۸۰	۱۸۷۰	۵۹/۵	خسارت مالی زیاد به زیرساخت‌های اقتصادی ۴۱۰ نفرکشته و ۶۱۰ میلیارد ریال خسارت
۱۳۸۱	۶۴۴	۵۰	۴۵ نفر کشته، ۲۲۰ میلیارد ریال خسارت
۱۳۸۴	۱۰۵۷	ثبت نشده	خسارت مالی و تلفات جانی(تعداد تلفات جانی گزارش نشده است)

رویکردهای مدیریت سیلاب:

رویکردهای مدیریت سیلاب به دو دسته سازه‌ای و غیرسازه‌ای طبقه‌بندی می‌شود. رویکردهایی نظیر استفاده از سدها و مخازن مهارسیلاب، کانال انحراف سیلاب، گوره‌ها و اصلاح مسیر و مقاطع رودخانه از دسته رویکردهای سازه‌ای کاهش خسارت سیل محسوب می‌شود (لیبراتور، ۱۹۸۷). رویکردهای دیگری که مستقیم بر روی جریان سیل اثر نمی-گذارند نظیر سامانه پیش‌بینی و هشدارسیلاب، بیمه سیل و نظیر آن‌ها از دسته رویکردهای غیرسازه‌ای محسوب می‌شوند. با توجه به شرایط فیزیکی، اجتماعی و اقتصادی محدوده طرح رویکردهای سازه‌ای و غیرسازه‌ای زیر برای مدیریت سیل در بازه مورد مطالعه پیشنهاد شده‌اند (روسوالد و مارینونی، ۲۰۰۴). رویکرد اول (P1) شرایط طبیعی، رویکرد دوم (P2) استفاده از ظرفیت مهار سیلاب سد گلستان، رویکرد سوم (P3) احداث گوره، رویکرد چهارم (P4) احداث کانال انحراف، رویکرد پنجم (P5: پیش بینی و هشدارسیلاب، رویکرد ششم (P6) استفاده از بیمه سیل و رویکرد هفتم (P7) ترکیب رویکردهای پنجم و ششم. رویکردهای دوم تا چهارم سازه‌ای و رویکرد پنجم تا هفتم غیرسازه‌ای است. رویکرد اول برای مقایسه نتایج رویکردهای دیگر با شرایط طبیعی رودخانه مطرح گردیده و شامل هیچ اقدام سازه‌ای و غیرسازه‌ای نیست. رویکرد دوم بر استفاده از ظرفیت مهار سیلاب سد گلستان یک تأکید دارد. سد گلستان یک درحال حاضر احداث شده و در این رویکرد فرض بر این بوده که هنگام رخداد سیلاب سطح آب مخزن سد در تراز نرمال بوده و حجم ذخیره مازاد بر تراز نرمال بعنوان حجم ذخیره سیلاب در روندیابی سیل استفاده می‌شود. لذا هزینه‌های احداث، بهره‌برداری و نگهداری

Archive of SID
www.SID.ir

سد گلستان و نیز پیامدهای اجتماعی، اقتصادی و زیست محیطی سیلاب خروجی از آن در ارزیابی این رویکرد استفاده شده است. رویکرد سوم از گوره خاکی برای محدودسازی سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ سال استفاده می‌نماید. ارتفاع گوره‌ها بر مبنای شبیه‌سازی یک بعدی جریان سیلاب در رودخانه بین ۱ تا ۳/۵ متر تعیین شده و مجموع طول گوره‌های مورد نیاز این رویکرد، در طرفین رودخانه برابر با ۴۱۱۵۰ متر می‌باشد. عرض تاج گوره ۵ متر و شیب شیروانی طرفین آن ۱ قائم و ۲ افقی طرح شده است. رویکرد چهارم از کانال انحراف سیلاب بعمق ۳ متر و عرض ۱۰۰ متر و به موازات رودخانه در شمال محدوده طرح استفاده می‌نماید. رویکرد پنجم از سامانه پیش‌بینی و هشدار سیلاب برای کاهش خسارت سیل درمحدوده مورد مطالعه استفاده می‌نماید. در این رویکرد تغییر فیزیکی در محدوده طرح ایجاد نشده و شرایط‌طبیعی آن حفظ می‌شود. رویکرد ششم از بیمه سیل برای جبران خسارت سیل استفاده می‌نماید. دراین رویکرد شرایط طبیعی محدوده طرح حفظ‌شده و هیچ اقدامی برای کاهش خسارت مالی و تلفات و آسیب‌های جانی صورت نمی‌گیرد، فقط با پرداخت خسارت وارده به بیمه شدگان، نسبت به جبران خسارت سیلاب به آنها اقدام می‌شود. رویکرد هفتم ترکیبی از رویکردهای پنجم و ششم می‌باشد.

شاخص‌های مدل چندمعیاره:

مورد استفاده در مدل‌های چندمعیاره در تحقیق حاضر، به صورت جدول(۲) می‌باشد. این معیارها می‌توانند از نظر فنی- اقتصادی، اجتماعی و زیست‌محیطی سه گروه تقسیم شوند.

روش سلسله‌مراتبی :

در این روش اولین مرحله تشکیل ماتریس مقایسه زوجی عناصر می‌باشد. در این مرحله عناصر هر سطح نسبت به سایر عناصر مربوط خود در سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و ماتریس‌های مقایسه زوجی تشکیل می‌شوند. تخصیص امتیازات عددی مربوط به مقایسه زوجی اهمیت دو گزینه یا دو شاخص بر اساس جدول(۳) صورت می‌گیرد.

در ماتریس مقایسه زوجی معیارها نسبت به یکدیگر، بنا به شرط معکوسی رابطه (۱) برقرار است:

$$a_{ij}=\frac{1}{a_{ji}} \qquad (1)$$

که در آن a_{ij} ترجیح عنصر نسبت i به عنصر j می‌باشد.

جدول(۳): امتیازات عددی مربوط به مقایسه زوجی شاخص‌ها

مقایسه نسبی شاخص‌ها (قضاوت شفاهی)	امتیازعددی
اهمیت مطلق	۹
اهمیت خیلی قوی	۷
اهمیت قوی	۵
اهمیت ضعیف	۳
اهمیت یکسان	۱
ترجیحات بین فاصله های بالا	۲،۴،۶،۸

برای هر ماتریس مقایسه زوجی، عناصر روی قطر مساوی یک بوده و نیازی به ارزیابی نیست، ولی سایر درایه‌های ماتریس باید بر اساس مقایسه های زوجی تعیین شوند. درایه‌های قرینه نسبت به قطر، معکوس همدیگر هستند.

محاسبه وزن عناصر در روش تحلیل سلسله مراتبی:

در روش تحلیل سلسله مراتبی، عناصر هر سطح نسبت به هر یک از عناصر سطح بالاتر به صورت زوجی مقایسه شده و وزن آنها محاسبه می‌شود. این وزنها را وزن نسبی می‌گویند. سپس با تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه مشخص می‌شود. وزن معیارها، منعکس کننده اهمیت آن‌ها در تعیین هدف می‌باشد. وزن هر گزینه نسبت به معیارها، سهم آن گزینه در شاخص مربوط می‌باشد. لذا وزن نهایی هر گزینه از مجموع حاصل‌ضرب وزن هر شاخص در وزن گزینه از آن شاخص بدست می‌آید. روش‌های مختلفی برای محاسبه وزن نسبی بر اساس ماتریس مقایسه زوجی وجود دارد که مهمترین آنها، روش حداقل مربعات، روش حداقل مربعات لگاریتمی، روش بردار ویژه و روشهای تقریبی می‌باشند. یکی از روشهای تقریبی روش میانگین حسابی است که در آن بعد از نرمال کردن هر ستون ماتریس مقایسات زوجی، عناصر هر ستون را با هم جمع و هر یک از عناصر را بر این مجموع تقسیم می‌کنیم. سپس از سطرهای ماتریس حاصل میانگین می‌گیریم. اعداد بدست‌آمده وزن نسبی می‌باشند.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول(۲) شاخص‌های ارزیابی شده جهت رتبه‌بندی رویکردهای مدیریت سیلاب

شاخص	عنوان شاخص	توضیح
I1	تلفات جانی مورانتظار[1]	تعداد میانگین مورد انتظار تلفات انسانی در سال است که برای ارزیابی دامنه عکس‌العمل بکارمیرود [۱۵].
I2	نرخ بازیابی [2]	نرخ بازگشت از وضعیت که آثار سیلاب در آن مشهود است به وضعیت عادی یا به وضعیت بهتر از شرایط قبل از وقوع سیل.
I3	نرخ تدریج [3]	افزایش عکس‌العمل سیستم با افزایش دبی بوده که بیانگر افزایش میزان خسارت با افزایش دبی اوج سیل است [۱۵].
I4	خسارت موردانتظارسالانه[4]	میانگین خسارت مورد انتظار سالانه است که برای ارزیابی دامنه عکس‌العمل بکار می‌رود [۱۵].
I5	احساس امنیت مردم	احساس‌امنیت‌مردم در اثر اجرای یک رویکرد مدیریت سیلاب، که به پایداری اجتماعی یک منطقه کمک می‌کند.
I6	نرخ اشتغال زائی	اشتغال یکی از عوامل مهم و رضایتمندی عمومی و پایداری اجتماع محسوب می‌شود.
I7	مشارکت مردمی	میزان مشارکت مردمی در اجرای یک رویکرد نشانگر خوبی از رضایت‌مندی عمومی و پایداری اجتماعی است.
I8	حفظ و بهبود مناظر طبیعی	حفظ و بهبود مناظر طبیعی در یک رویکرد شاخصی است از پایداری زیست محیطی.
I9	حفاظت زیستگاه‌حیات-وحش	حفاظت از زیستگاه حیات وحش در یک رویکرد نقش آن را در توسعه پایدار زیست محیطی ارزیابی می-کند.
I10	حفاظت ازکیفیت آب	حفاظت از کیفیت آب در مقابل آلاینده‌ها و رسوب، به بهبود منابع آب و حفظ محیط زیست کمک می-کند.
I11	امکان‌پذیری فنی وسرعت اجراء	محدودیت‌های مالی و تکنولوژی درجوامع در حال توسعه بر امکانپذیری فنی و سرعت اجرای یک رویکرد اثر گذاشته و هر رویکرد را با رویکردهای دیگر در امکان‌پذیری اقتصادی آن و رضایت‌مندی عمومی متفاوت سازد.

وزن نهایی هر گزینه در یک فرایند سلسله مراتبی، از مجموع حاصلضرب وزن هر شاخص در امتیاز گزینه مورد نظر بدست می‌آید. مجموع امتیازات بدست آمده برای هر گزینه از رابطه (۲) حاصل می‌شود.

$$A_{AHP\ score} = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}.W_j \qquad i = ۲،۱،...m \qquad (۲)$$

که در آن a_{ij} میزان اهمیت نسبی گزینه i به ازای شاخص C_j و w_j اهمیت شاخص C_j می باشد.

محاسبه نرخ ناسازگاری:

یکی از مزایای تحلیل سلسله مراتبی کنترل سازگاری تصمیم است، به عبارت دیگر همواره در تحلیل سلسله مراتبی می‌توان میزان سازگاری تصمیم را محاسبه کرد و نسبت به خوب و بد بودن و یا قابل قبول و مردود بودن آن قضاوت کرد. اگر A دو برابر B اهمیت داشته باشد و B سه برابر C اهمیت داشته باشد، چنانچه A شش برابر C اهمیت داشته باشد، این قضاوت را سازگار می‌گوییم. اگر ترجیح A نسبت به C عددی غیر از شش، مثلا پنج باشد، در این صورت از سازگاری قضاوت-ها کم می‌شود. میزان ناسازگاری را با شاخص ناسازگاری[1] ($I.I.$) می‌سنجند (ساعتی، ۲۰۰۱) که به صورت رابطه(۳) است.

$$I.I. = \frac{\lambda_{max} - n}{n-1} \qquad (۳)$$

[1]. Expected Average Number of Casualties per year (EANC)
[2]. Recovery Rate
[3]. Gradually
[4]. Expected Annual Damage (EAD)

www.SID.ir

که در آن λ_{max} بزرگترین عدد مقادیر ویژه ماتریس مقایسه زوجی می‌باشد و n تعداد گزینه ها (رویکردها) می‌باشد. مقدار شاخص ناسازگاری را برای ماتریس‌هایی که اعداد آنها کاملا تصادفی اختیار شده باشند، محاسبه کرده‌اند و آن‌را شاخص ناسازگاری تصادفی[1] ($R.I._n$) نام نهاده‌اند که مقادیر آن را برای ماتریس n بعدی می‌توان از رابطه (۴) یا از جدول (۴) محاسبه کرد.

$$R.I. = 1.98\frac{n-2}{n} \quad (۴)$$

جدول(۴): مقادیر ناسازگاری تصادفی برای داده‌های تصادفی

n	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰
IIR	۰	۰/۵۸	۰/۹	۱/۱۲	۱/۲۴	۱/۳۲	۱/۴۱	۱/۴۵	۱/۴۵

برای هر ماتریس، حاصل تقسیم شاخص‌ناسازگاری بر شاخص ناسازگاری تصادفی، میزان ناسازگاری[1] ($I.R$) نامیده می‌شود که شاخص مناسبی برای قضاوت در مورد ناسازگاری می‌باشد که به صورت رابطه (۵) است (کبیر و هسین، ۲۰۱۱؛ بیروک و همکاران، ۲۰۱۰؛ پاکدین امیری، ۲۰۱۰).

$$I.R = \frac{I.I}{R.I.I} \quad (۵)$$

در حالت کلی می‌توان گفت که میزان قابل قبول ناسازگاری یک سیستم بستگی به تصمیم‌گیرنده دارد، اما عدد ۰/۱ حد قابل قبول بوده و چنانچه میزان ناسازگاری بیشتر از ۰/۱ باشد، بهتر است در قضاوت‌ها تجدید نظر شود.

مدل ارزیابی داده‌های ترکیبی:

دراین روش داده‌ها به روش نرمال کردن خطی، بین اعداد صفر تا یک نرمال می‌شوند. درجه غالب بودن رویکرد برتر در مقابل رویکرد پایین‌تر به صورت مقایسه جفتی رویکردها محاسبه می‌شود. مراحل انجام این مدل به صورت زیر می‌باشد (ساعتی، ۱۹۸۰؛ ووگد، ۱۹۷۶).

مرحلهٔ اول: تعیین ماتریس تصمیم متشکل از داده‌های کمی و کیفی.

مرحلهٔ دوم: نرمال کردن معیارهای مثبت و منفی با استفاده از رابطه (۶) :

$$r_{ij} = [x_{ij} - \min(x_{ij})]/[\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})] \quad (۶)$$
$$n_{ij} = [\max(x_{ij}) - (x_{ij})]/[\max(x_{ij}) - \min(x_{ij})]$$

که در آن r_{ij} مقادیر نرمال داده‌های ماتریس تصمیم می‌باشد.

مرحلهٔ سوم: مقایسه جفتی رویکرهای (i,i) با توجه به نوع شاخص‌ها از نظر کیفی و کمی و محاسبهٔ درجهٔ تسلط(برتری) به ترتیب برای داده های کیفی و کمی($\alpha_{ii'}$ و $\gamma_{ii'}$) برای تمام شاخص‌ها با استفاده از رابطه (۷):

$$\alpha_{ii'} = \left[\sum_{j\in o}\{w_j sgn(r_{ij} - r_{i'j})\}^c\right]^{1/c} \quad (۷)$$

که در آن:

$$sgn(r_{ij} - r_{i'j}) = \begin{cases} +1 & if \quad r_{ij} > r_{i'j} \\ 0 & if \quad r_{ij} = r_{i'j} \\ -1 & if \quad r_{ij} < r_{i'j} \end{cases}$$

$$\gamma_{ii'} = \left[\sum_{j\in c}\{w_j(r_{ij} - r_{i'j})\}^c\right]^{1/c}$$

که در آن w وزن شاخص و پارامتر C نشان‌دهندهٔ میزان تاثیر معیارهای با ارزش پایین‌تر را نشان می‌دهد، بطوریکه هرچه مقدار C بیشتر باشد نشان‌دهندهٔ تاثیر کمتری از

[1] Inconsistency Ratio

Archive of SID
www.SID.ir

معیارهای کم‌ارزش می‌باشد. پارامتر c می‌تواند مقادیر اختیاری را در بین اعداد فرد {...و۵و۳و۱}داشته‌باشد. o وc به ترتیب مربوط به معیارهای کیفی و کمی و $\alpha_{ii'}$ و $\gamma_{ii'}$ مربوط به میزان تسلط هر جفت ازگزینه‌های (i,i') با توجه به معیارهای کیفی و کمی می‌باشد.

مرحلهٔ چهارم: استاندارد کردن درجه برتری(تسلط) در مقایسات جفتی گزینه‌ها، به‌ترتیب برای شاخص‌های کمی و کیفی با استفاده از رابطه (۸):

$$\gamma_{ii'} = \alpha_{ii'}\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{i'=1}^{m}|\alpha_{ii'}|\right)^{-1}$$
$$d_{ii'} = \gamma_{ii'}\left(\sum_{i=1}^{m}\sum_{i'=1}^{m}|\gamma_{ii'}|\right)^{-1} \qquad (۸)$$

که در آن $\delta_{ii'}$ و $d_{ii'}$ فرم استاندارد درجهٔ تسلط شاخص‌ها می‌باشد.

مرحلهٔ پنجم: تعیین درجه برتری(تسلط) نهایی که برای تمام رویکردهای (i,i')، که نشان دهنده میزان تسلط رویکرد i بر رویکرد i' می‌باشد، که به صورت روابط (۹) و(۱۰) می‌باشد.

$$D_{ii'} = w_o\delta_{ii'} + w_c d_{ii'} \qquad (۹)$$

که در آن $D_{ii'}$ درجه برتری نهایی رویکردها وw_o مجموع وزن شاخص‌های کیفی و w_c مجموع وزن شاخص‌های کمی می‌باشد.

$$w_o = \sum_{j\in o} w_j$$
$$w_c = \sum_{j\in c} w_j \qquad (۱۰)$$

مرحلهٔ ششم: تعیین امتیاز ارزیابی رویکردها که با عبارت S نشان داده شده و به صورت رابطهٔ (۱۱) محاسبه می‌شود (کاترجی و همکاران، ۲۰۱۱).

$$s_i = \frac{1}{n}\sum_{i'=1}^{n} D_{ii'} \qquad (۱۱)$$

هرچه میزان S_i بیشتر باشد گزینهٔ i امتیاز بالاتری نسبت به سایر گزینه‌ها خواهد داشت.

نتایج و بحث:

در این مقاله مقایسه زوجی معیارها با استفاده از نظرسنجی از سی نفر از متخصصین آب بدست‌آمده است. نمودار سلسله مراتبی مطابق شکل(۳) و ماتریس مقایسه زوجی روش تحلیل سلسله مراتبی مطابق جدول(۵) می‌باشد.

وزن نهایی معیارها و رویکردها به روش میانگین حسابی، نرخ ناسازگاری و رتبه بندی رویکردها با استفاده از مدل‌های تصمیم‌گیری سلسله مراتبی و ارزیابی داده‌های ترکیبی مطابق جدول(۶) می باشند. بر اساس مقایسه وزن نهایی شاخص‌های ارزیابی شده توسط مدل سلسله مراتبی، شاخص C1 و C2 که به ترتیب مربوط به تلفات جانی مورد انتظار و احساس امنیت مردم و می‌باشند در رتبه اول و دوم قرار گرفته اند و شاخص C8 و C11 که به ترتیب مربوط به حفظ و بهبود مناظر طبیعی و امکان پذیری فنی می باشند در رتبه های آخر قرار گرفته اند، که این رتبه‌بندی نشان دهنده این است که متخصصین شرکت‌کننده در نظرسنجی، به معیارهای اجتماعی بیشتر توجه نشان داده‌اند. بر اساس رتبه‌بندی نهایی رویکردها توسط مدل سلسله مراتبی، رتبه اول تا هفتم به ترتیب به رویکردهای P2، P7، P5، P4، P6، P3 و P1 اختصاص یافته است. رتبه اول به P2 یعنی رویکرد سازه ای سد گلستان و رتبه دوم به P7 یعنی رویکرد سامانه هشدار سیل و بیمه سیل که سازگار با محیط زیست می‌باشد اختصاص یافته و رتبه سوم به رویکرد P5 یعنی استفاده از سامانه هشدار سیل اختصاص یافته است. رویکرد P5 در مقایسه با رویکرد P7 راهکاری برای خسارت‌های اجتماعی ارایه نمی‌دهد و به علت این که جبران خسارت در رویکرد P7 صورت می‌گیرد و تمام ویژگی‌های مثبت رویکرد P5 را شامل می‌شود، رویکرد P7 نسبت به رویکرد P5 برتری یافته است. رویکرد P6 یعنی استفاده از بیمه سیل به علت هزینه‌هایی که برای مردم دارد و شرایط نه چندان مناسب اقتصادی مردم در رتبه پنجم و رویکرد سازه‌ای P3 یعنی احداث گوره در رتبه ششم قرارگرفته‌اند. نهایتا رویکرد P1 که شرایط بدون اجرای پروژه و

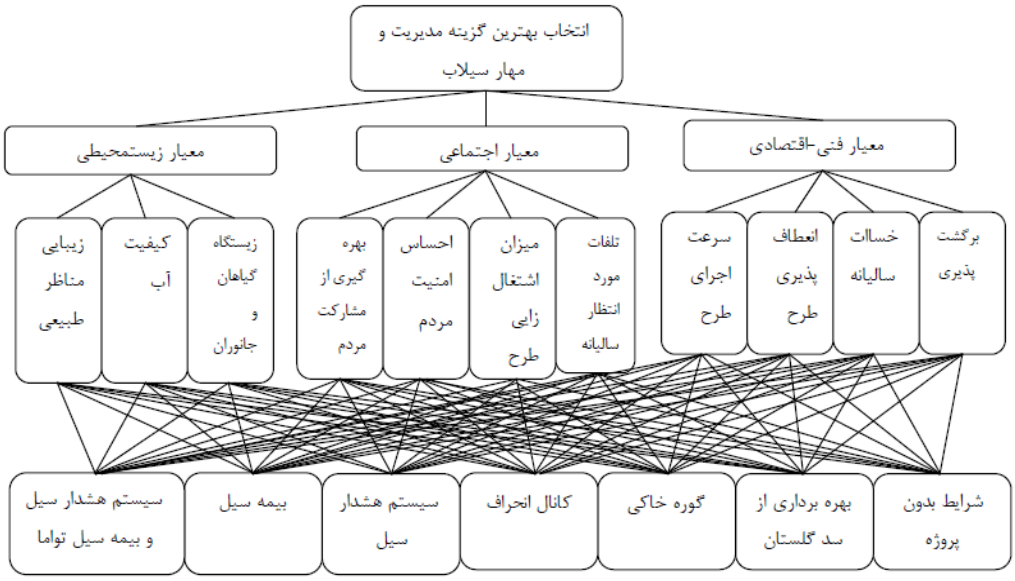
Archive of SID

www.SID.ir

شرایط طبیعی را مد نظر قرارمی‌دهد، رتبه آخر را به خود اختصاص داده است. این بدان معنی است که نتایج رتبه‌بندی توسط مدل تسلط تقریبی، بر انجام پروژه در مقابل عدم انجام پروژه تاکید دارد و یا به عبارت دیگر انجام هرکدام از شش رویکرد بر عدم انجام آنها ترجیح داده می‌شود. با توجه به نتایج حاصل از روش جبرانی ارزیابی داده‌های ترکیبی، رویکرد P7 رویکرد ترکیبی سامانه هشدار سیل و بیمه سیل مناسب‌ترین رویکرد است. همچنین رویکردهای P2 وP5 که به‌ترتیب مربوط به رویکردهای سد گلستان و سامانه هشدار سیل هستند، رویکردهای بعدی می‌باشند که از امتیاز بالاتری نسبت به سایر رویکردها برخوردارند. رویکردهای P3 وP1 نیز که مربوط به گوره و شرایط طبیعی می‌باشند، کمترین امتیاز را کسب نموده‌اند. مقایسه نتایج دو مدل سلسله مراتبی و ارزیابی داده‌های ترکیبی نشان می دهد که تفاوت دو مدل در تعیین رتبه‌های اول و دوم رویکردها می‌باشد. بطوریکه مدل سلسله مراتبی رویکرد سد را در رتبه اول و مدل ارزیابی داده‌های ترکیبی رویکرد سیستم هشدار سیل توام با بیمه سیل را در رتبه اول قرار داده‌است. دلیل این تفاوت را می‌توان در داده‌های جدول(۳) یافت. رویکرد سامانه هشدار توام با بیمه سیل در مقایسه با رویکرد سد در معیارهای فنی اقتصادی بازیابی، انعطاف‌پذیری، خسارت سالانه اصلاحی امتیاز بالاتری داشته و در مقابل رویکرد سد در معیارهای اجتماعی و زیست-محیطی امتیاز بیشتری داشته است. بنابراین مدل ارزیابی داده‌های ترکیبی بیشتر به جنبه‌های تکنیکی و اقتصادی توجه کرده ولی مدل سلسله مراتبی به معیارهای اجتماعی و زیست محیطی اهمیت داده‌است.

جمع‌بندی و نتیجه‌گیری

در این مقاله جهت مدیریت سیلاب در حوزهٔ گرگان‌رود، از مدل‌های تصمیم‌گیری چند معیاره تحلیل سلسله مراتبی و ارزیابی داده‌های ترکیبی برای رتبه‌بندی هفت رویکرد مدیریت سیلاب شامل حفظ شرایط‌طبیعی، بهره‌برداری از سدگلستان، احداث گوره، احداث کانال‌انحراف، سامانهٔ پیش‌بینی و هشدارسیل، استفاده از بیمه‌سیل و نیز سامانهٔ پیش‌بینی و هشدارسیل توام با بیمهٔ‌سیل استفاده شده‌است.



شکل (۳): تشکیل نمودار سلسله مراتبی

Archive of SID
www.SID.ir

جدول (۵): ماتریس مقایسه زوجی معیارها

مقایسه زوجی	قابلیت وسرعت اجرای طرح	زیبایی و مناظر طبیعی منطقه	نرخ اشتغال زائی طرح	استقبال عمومی و مشارکت‌های مردم	انعطاف پذیری طرح	زیستگاه های گیاهان وجانوران	کیفیت آب (آلودگی،رسوب...	نسبت سود به هزینه	احساس امنیت مردم	برگشت پذیری به حالت نرمال	تلفات مورد انتظار سالیانه
تلفات مورد انتظارسالیانه	۷	۷	۷	۵	۵	۶	۶	۶	۵	۷	۱
برگشت پذیری به حالت نرمال	۲	۳	۳	۲	۲	۲	۲	۲	۱/۲	۱	۱/۷
احساس امنیت مردم منطقه	۵	۶	۵	۴	۴	۴	۴	۳	۱	۲	۱/۵
نسبت سود به هزینه	۲	۴	۳	۲	۲	۲	۳	۱	۱/۳	۱/۲	۱/۶
کیفیت آب (آلودگی، رسوب و....	۲	۲	۴	۲	۱/۳	۱	۱	۱/۳	۱/۴	۱/۲	۱/۶
زیستگاه های گیاهان وجانوران	۲	۲	۴	۲	۳	۱	۱	۱/۲	۱/۴	۱/۲	۱/۶
انعطاف پذیری طرح باتغییر دبی	۱	۳	۳	۱	۱	۱/۳	۳	۱/۲	۱/۴	۱/۲	۱/۵
استقبال عمومی و مشارکت مردم	۱	۲	۲	۱	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۴	۱/۲	۱/۵
نرخ اشتغال زائی طرح	۱	۲	۱	۱/۲	۱/۳	۱/۴	۱/۴	۱/۳	۱/۵	۱/۳	۱/۷
زیبایی و مناظر طبیعی منطقه	۱	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۳	۱/۲	۱/۲	۱/۴	۱/۶	۱/۳	۱/۷
قابلیت و سرعت اجرای طرح	۱	۱	۱	۱	۱	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۵	۱/۲	۱/۷

جدول (۶) وزن نهایی معیارها و رویکردها، نرخ ناسازگاری و رتبه بندی با مدل‌های تصمیم‌گیری سلسله مراتبی و ارزیابی داده‌های ترکیبی

شاخص‌ها	وزن نهایی	نرخ ناسازگاری	رویکردهای مدیریت سیلاب	وزن نهایی	رتبه بندی به روش سلسله مراتبی	رتبه بندی به روش ارزیابی داده های ترکیبی
I1	۰/۳۰۸	۰/۰۴	P1	۰/۰۶۷	۷	۷
I2	۰/۱	۰/۰۳	P2	۰/۲۸۵	۱	۲
I3	۰/۰۵۴	۰/۰۶	P3	۰/۰۷۲	۶	۶
I4	۰/۰۹	۰/۰۶	P4	۰/۱۴۴	۴	۴
I5	۰/۱۷۹	۰/۰۶	P5	۰/۱۵۹	۳	۳
I6	۰/۰۳	۰/۰۶	P6	۰/۰۹۱	۵	۵
I7	۰/۰۴۹	۰/۰۵	P7	۰/۱۸۲	۲	۱
I8	۰/۰۲۳	۰/۰۶				
I9	۰/۰۶۴	۰/۰۲				
I10	۰/۰۷۴	۰/۰۸				
I11	۰/۰۲۹	۰/۰۶				

به‌منظور ارزیابی رویکردها از ۱۱ شاخص شامل تلفات جانی مورد انتظار، نرخ بازیابی، تدریج، خسارت مورد انتظار سالانه، احساس‌امنیت مردم، نرخ اشتغال‌زائی، مشارکت مردمی، حفظ و بهبود مناظرطبیعی، حفاظت از زیستگاه-حیات‌وحش، حفاظت ازکیفیت‌آب و امکان‌پذیری‌فنی و سرعت‌اجراء استفاده شده‌است. نتایج رتبه‌بندی توسط دو مدل تصمیم گیری چندمعیاره یاد شده نشان می‌دهد که دو مدل تنها در رتبه اول و دوم رویکردها با یکدیگر اختلاف داشته و مدل سلسله مراتبی رتبه اول را به رویکرد بهره‌برداری از سد و مدل ارزیابی داده‌های ترکیبی رتبه اول را به رویکرد هشدارسیل توام با بیمه‌سیل اختصاص داده ولی رتبه دوم هر مدل به رویکرد رتبه اول مدل دیگر اختصاص یافته است. در

Archive of SID
www.SID.ir

سایر رویکردها نتایج رتبه‌بندی مدل‌ها یکسان بوده‌است. لذا می‌توان گفت دو مدل تفاوت زیادی در رتبه‌بندی نداشته ولی در تعیین برترین گزینه (رتبه اول) تفاوت اساسی دارند. تفاوت نتایج این دو مدل با توجه به مقادیر امتیاز هر رویکرد در برآورده کردن معیارها توجیه می‌شود؛ بطوریکه مدل ازریابی داده‌های ترکیبی به دلیل ارجحیت رویکرد سامانه هشدار توام با بیمه سیل معیارهای تکنیکی و اقتصادی را در اولویت قرار داده و مدل سلسله مراتبی با ارجحیت دادن به رویکرد سد، معیارهای اجتماعی و زیست‌محیطی را برتر دانسته‌است.

منابع

۱- بزرگی، ب. ۲۰۰۷. مدیریت پایدار سیلاب با رویکرد مدیریت ریسک. پایان نامه دکتری دانشگاه خواجه نصیرالدین طوسی. تهران. ایران.

۲-عطایی، م. ۱۳۸۹. تصمیم‌گیری چندمعیاره، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود. ص ۱۸۰-۲۳۸.

[3] Chung, E-S, KS. Lee. 2009. "Identification of spatial ranking of hydrological vulnerability using multi-criteria decision making techniques: case study of Korea". Water Res Manage doi:10.1007/s11269-008-9387-9.

[4] De Bruijn, KM. 2005. " Resilience and flood risk management; A systems approach applied to lowland rivers" 216 pp

[5] Erkut and Moran. 1991. "Locating Obnoxious Facilities in the Public Sector: An Application of the Analytic Hierarchy Process to Municipal Landfill Siting Decisions", Socio-Economic Planning Sciences 25/2, 89-102

[6] Guangtao Fu. 2008. "A fuzzy optimization method for multi criteria decision making: An application to reservoir flood control operation". Expert System with Application, 34:145–149.

[7] Hajkowicz, S. and A. Higgins. 2008. "A comparison of multiple criteria analysis techniques for water resource management". Euro J Oper Res 2008;184:255–65

[8] Jeffreys I. 2004. "The use of compensatory and non-compensatory multi-criteria analysis for small-scale forestry". Small-scale Forest Ecol Manage Policy 2004;3:99–117.

[9] Kundzewicz, Z.W. and K. Takeuchi. 1999. " Flood protection and management: quo vadimus?". Hydrol Sci J 44(3):417-432

[10] Martel, J.M. and B. Matarazzo. 2005. "Other outranking approaches. In: Figueira J, Salvatore G, Ehrgott M, editors. Multiple criteria decision analysis: state of the art surveys". Springer: New York; 2005. p. 197–262.

[11] Maass, A., M.M. Hufschmidt, R. Dorfman Jr., H.A. Thomas, S.A. Marglin and G.M. Fair. 1962. "Design of Water Resources Systems". Harvard University Press, Cambridge.

[12] Miller, D.H. 1980. "Project location analysis using the goals achievement method of evaluation". Journal of the American Planning Association (April) :195 -208

[13] Liberatore, M. 1987. "An Extension of the analytic hierarchy process for industrial R&D project selection and resource allocation ",IEEE Trans. Eng. Manag. , vol. EM-34, no. 1, pp. 12-18 .

[14] Oswald and Marinoni. 2004. "Implementation of the analytical hierarchy process with VBA in ArcGIS", Computers & Geosciences.

[15] Quaddus, M. and A. Chowdhury. 1990. Social preference function and policy prioritization for Bangladesh: an experiment with analytical hierarchy process. Econ Plann 1990;23:175– 91.

[16] Saaty, T.L. 1980. The Analytic Hierarchy Process. McGraw-Hill, New York, 20-25

[17] Saaty T.L. 2001. decision making for leaders: the analytic hierarchy process for decision in a complex world, new edition 2001, publisher: RWS publications. ISBN-13:978-0962031786.

[18] Ustinovichius, L., E.K. Zavadskas and V. Podvezko. 2007. "Application of a quantitative multiple criteria decision making (MCDM-1) approach to the analysis of investments in construction". Control Cybern 2007;36:251–68.

[19] Van Delft, A. and P. Nijkamp. 1977. " Multi-Criteria Analysis and Regional Decision-Making" (Martinus Nijhoff, The Hague).

[20] Voogd, H. 1976. "Concordance analysis: some alternative approaches" research paper 2, Research Centre for Physical Planning, PSC-TNO, Delft

[21] Voogd, H. 1981. "Qualitative multicriteria evaluation methods for development planning". The Canadian Journal of Regional Science 4(1) :73-8.

[22] Zahraie, B., M. Fooladgar, A. Shanehsaz and A. Roozbahani. 2008. "Framework of a Decision Support System for Basin-Scale Sustainable Water Resources Supply and Demand Management", Proceedings of Congress, 12-16 May, Hawaii.

[23] Kabir, G. and A.A. Hasin. 2011. "Comparative analysis of AHP and fuzzy AHP models for multi-criteria inventory classification" International Journal of Fuzzy Logic Systems (IJFLS) Vol.1, No.1, October 2011

Archive of SID
www.SID.ir

[24] Pakdin Amiri, M. 2010. "Project selection for oil-fields development by using the AHP and fuzzy TOPSIS methods" Expert systems with applications, Volume 37, Issue 9, September 2010, Pages 6218-6224.
[25] Biruk, S., P. Jaskowski and R. Bucon. 2010. "Assesing contractor selection criteria weights with fuzzy AHP method application in group decision environment". Automation in Construction Volume 19, Issue 2, March 2010, Pages120–126.
[26] Chatterjee, P., V.M. Athawale and S. Chakraborty. 2011. "Materials selection using complex proportional assessment and evaluation of mixed data methods" Materials & Design journal. Volume 32, Issue 2, February 2011, Pages 851–860.

Flood Management Options Using Analytical Hierarchy Process and Evaluation and Mixed Criteria

Mohammad Ebrahim Banihabib [2] and Abolfazl Laghabdoost Arani[1]

Abstract:
Flood has destructive effects on the social, economic and environmentaround world and flood management is able to decrease destructive effect of a flood. Because of the multi-dimensional impacts of floods, application of multi criteria decision making as a decision tool will be useful in flood management. In this article, analytical hierarchy process (AHP) and evaluation and mixed criteria (EVAMIX) models are used for the ranking of seven flood management measures in Gorganrood River flood management project, including non-project condition, Golestan reservoir management, levee construction, construction of diversion channel, flood forecasting and warning system, flood insurance, and flood warning system and flood insurance integration. Eleven criteria including expected average number of casualties, recovery rate, gradual rate, expected annual damage, safety feeling, employment rate, public participation, landscape protection, wildlife habitat conservation, water quality conservation and technical feasibility and performance were used for evaluation of the measures. Ranking results shows that these two models were contradict just in first and second rank, So that, the AHP allocated Golestan reservoir measure in first place and EVAMIX preferred flood warning system and flood insurance integration measure. But the other ranks were the same in both of the models. Thus, the models didn't rank measures so differently, but nomination of the best measure was different to each other.

Keywords: AHP, EVAMIX, Flood management, Gorganrood catchment, Multi-criteria decision making.

1. M.Sc., Water resources Engineering, Irrigation & Drainage Engineering Department,
University College of Abureyhan, University of Tehran.
2.Ph.D. of Civil Engineering, Water Resource Engineering, Associate Professor of University of Tehran, University College of Aboureyhan. banihabib@ut.ac.ir

Archive of SID
www.SID.ir